



DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets ⁷ : H04L 9/00	A2	(11) Numéro de publication internationale: WO 00/48355
		(43) Date de publication internationale: 17 août 2000 (17.08.00)

(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR00/00332

(22) Date de dépôt international: 10 février 2000 (10.02.00)

(30) Données relatives à la priorité:
99/01652 11 février 1999 (11.02.99) FR(71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): BULL S.A.
[FR/FR]; 68, route de Versailles, F-78434 Louveciennes
Cedex (FR).(72) Inventeur; et
(75) Inventeur/Déposant (US seulement): PINKAS, Denis [FR/FR];
13 Pavé des Gardes, F-92370 Chaville (FR).(74) Mandataire: CORLU, Bernard; Bull S.A., PC58D20, 68, route
de Versailles, F-78434 Louveciennes Cedex (FR).(81) Etats désignés: CA, JP, US, brevet européen (AT, BE, CH,
CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL,
PT, SE).

Publiée

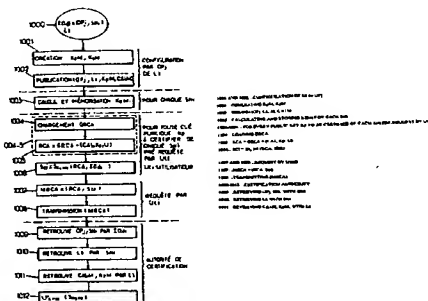
Sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès
réception de ce rapport.

(54) Title: METHOD FOR VERIFYING THE USE OF PUBLIC KEYS GENERATED BY AN ON-BOARD SYSTEM

(54) Titre: PROCEDE DE VERIFICATION DE L'USAGE DE CLES PUBLIQUES ENGENDREES PAR UN SYSTEME EMBARQUE

(57) Abstract

The invention concerns an on-board system for verifying a certification request of a public key (K_p) generated by an on-board identifier system (SN_i). For an assembly (Lk) of on-board systems, an authorised identifier (OP_j) operator configures the on-board systems and generates (1001) a parent public key (KpM) and a parent private key (KsM). The identifier (OP_j), the reference range of identifiers (Lk) and the public key (KpM) are issued (1002). For each on-board system (SN_i), a diversified key (KsM_i) is generated from the identifier (SN_i) and stored (1003) in a storage unit with protected reading and writing access. For every public key (Kp) generated by an on-board system, a cryptographic control value (Sci) is computed (1006) on the public key (Kp), an algorithm identifier ($CA1$) and utilisation parameters (U) of said key using a zero-knowledge signature algorithm and a certification request message (MRCA) including the control value (Sci), the operator identifier (OP_j) and the identifier (SN_i) is transmitted to a certification authority, which retrieves the identifier (OP_j) (1009) and the parent public key (KpM) value (1001). Verification (1012) of the message (MRCA) from the parent public key (KpM) and of the identifier of the on-board system (SN_i) enables to ensure that the public key (Kp) certification request and the use thereof originates indeed from an on-board component capable of restricting the use of said key.



(57) Abrégé

Un procédé et un système embarqué de vérification d'une requête de certification de clé publique (Kp) engendrée par un système embarqué d'identifiant (SN_i). Pour un ensemble (Lk) de systèmes embarqués, un opérateur habilité d'identifiant (OP_j) configure les systèmes embarqués et crée (1001) une clé publique mère (KpM) et une clé privée mère (KsM). L'identifiant (OP_j), la plage d'identifiants référencée (Lk) et la clé publique mère (KpM) sont publiés (1002). Pour chaque système embarqué (SN_i), une clé diversifiée (KsM_i) est créée à partir de l'identifiant (SN_i) et mémorisée (1003) en mémoire à accès protégé en lecture et écriture. Pour toute clé publique (Kp) engendrée par un système embarqué, une valeur de contrôle cryptographique (Sci) est calculée (1006) sur la clé publique (Kp), un identifiant d'algorithme ($CA1$) et des paramètres d'utilisation (U) de cette clé à l'aide d'un algorithme de signature à apport nul de connaissance et un message de requête de certification (MRCA) comprenant la valeur de contrôle (Sci), l'identifiant de l'opérateur (OP_j) et l'identifiant (SN_i) est transmis à une autorité de certification, laquelle retrouve l'identifiant (OP_j) (1009) et la valeur de la clé publique mère (KpM) (1001). Une vérification (1012) du message (MRCA) à partir de la clé publique mère (KpM) et de l'identifiant du système embarqué (SN_i) permet de s'assurer que la requête de certification de clé publique (Kp) et l'utilisation de celle-ci provient bien d'un composant embarqué à même de limiter l'utilisation de cette clé.

UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave de Macédoine	TM	Turkménistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce	ML	Mali	TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	MN	Mongolie	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MR	Mauritanie	UA	Ukraine
BR	Brésil	IL	Israël	MW	Malawi	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	MX	Mexique	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	NE	Niger	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NL	Pays-Bas	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norvège	YU	Yougoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NZ	Nouvelle-Zélande	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	PL	Pologne		
CM	Cameroun	KR	République de Corée	PT	Portugal		
CN	Chine	KZ	Kazakstan	RO	Roumanie		
CU	Cuba	LC	Sainte-Lucie	RU	Fédération de Russie		
CZ	République tchèque	LI	Liechtenstein	SD	Soudan		
DE	Allemagne	LK	Sri Lanka	SE	Suède		
DK	Danemark	LR	Libéria	SG	Singapour		
EE	Estonie						

PROCEDE DE VERIFICATION DE L'USAGE DE CLES PUBLIQUES
ENGENDREES PAR UN SYSTEME EMBARQUE

L'invention concerne un procédé de vérification, notamment de l'usage de clés publiques engendrées par un système embarqué, et le système embarqué correspondant.

Afin d'assurer la sécurité de transmission des données transmises sur les réseaux informatiques, les utilisateurs de ces réseaux ont exercé une forte demande relative à des prestations de chiffrement/déchiffrement et/ou de génération/vérification de signature numérique de ces données transmises.

Les opérations de chiffrement/déchiffrement ont pour but de coder puis de décoder, à partir d'une convention secrète temporairement partagée entre un émetteur et un récepteur, des messages transmis afin de rendre ces derniers inintelligibles aux tiers à cette convention.

Les opérations de signature ont pour objet la transmission de messages spécifiques permettant de s'assurer de l'intégrité et l'origine des données transmises.

Pour des raisons de sécurité publique, les Pouvoirs Publics ont, dans certains états, mis en place des dispositions législatives contraignantes afin d'imposer une réglementation stricte des opérations de chiffrement/déchiffrement utilisant des algorithmes dits "forts". Toutefois, les autres opérations telles le chiffrement/déchiffrement utilisant des algorithmes dits "faibles", l'authentification, l'intégrité et la non-répudiation utilisant un calcul de signature numérique ne font pas l'objet de telles mesures contraignantes. En particulier, le message d'information accompagnant une

signature numérique étant transmis en clair peut faire l'objet de tout contrôle de police utile.

Différents systèmes de calcul de signatures numériques ont, jusqu'à ce jour, été proposés.

5 Parmi ceux-ci, les systèmes cryptographiques à clés asymétriques ont été plus particulièrement développés en raison de leur souplesse d'utilisation ou tout au moins de la souplesse relative de gestion des clés précitées. En effet, ces systèmes mettent en œuvre une clé privée, non
10 publiée, et une clé publique. La connaissance de la clé publique ne permet pas de calculer la clé privée.

Certains algorithmes de signature numérique ne peuvent servir à un autre usage que la signature numérique. C'est ainsi le cas du système connu sous le nom de DSA
15 (Digital Signature Algorithm). Cependant il existe un autre algorithme largement utilisé connu sous le nom de RSA, du nom de leurs inventeurs RIVEST, SHAMIR et ADLEMAN, lequel permet à la fois la mise en œuvre d'opérations de calcul de signature numérique et de chiffrement/déchiffre-
20 ment, dit "fort".

La présente invention a, en autres objets, dans le cadre de la mise en œuvre d'un système cryptographique à clés asymétriques, de s'assurer qu'un système embarqué utilisant l'algorithme RSA et des clés RSA à usage de
25 signature seulement sera en mesure de supporter uniquement des opérations de signature à partir de cesdites clés et en aucun cas des opérations de déchiffrement.

Un autre objet de la présente invention est la mise en place d'une infrastructure de clés publiques utilisable
30 exclusivement à des fins de signature numérique. En effet, si un utilisateur tentait d'utiliser à des fins de chiffrement l'une des clés publiques RSA ainsi certifiées à des fins de signature, l'entité en possession de la clé

privée RSA correspondante se trouverait dans la totale incapacité de pouvoir déchiffrer en utilisant ladite clé privée.

5 Un autre objet de la présente invention est également un procédé de vérification d'une requête de certification de clé publique engendrée par un système embarqué permettant un contrôle, par une autorité de certification, de l'usage de cette clé à des fins d'opérations de déchiffrement limitées.

10 Un autre objet de la présente invention est enfin, dans le cadre du contrôle précité de l'usage de cette clé, la limitation de cet usage à des opérations de chiffrement/déchiffrement au moyen d'algorithmes symétriques "faibles" autorisés par certains pouvoirs
15 publics.

On rappelle que les systèmes embarqués sont, de manière générale, constitués par une carte à microprocesseur et mis à la disposition d'une entité.

20 La notion d'entité précitée recouvre soit la personne physique titulaire d'un système embarqué telle qu'une carte à microprocesseur, soit tout système informatique muni d'un système embarqué ou carte à microprocesseur comparable.

25 Le procédé de vérification de l'origine de la requête de certification d'une clé publique issue d'un jeu de clés asymétriques, clé publique K_p et clé privée K_s engendrées, pour un algorithme donné CA1 et pour un usage donné, tel que le chiffrement/déchiffrement ou la vérification/ génération de signature numérique, par un
30 système embarqué et mémorisées dans la zone mémoire d'un système embarqué Si muni de moyens de calcul cryptographique et de moyens de mémorisation de données numériques à accès externe protégé en écriture/lecture, ces

données numériques ID_i, comportant au moins un numéro de série SN_i permettant l'identification du système embarqué et un code d'identification OP_j d'un opérateur habilité à configurer ledit système embarqué et cette requête étant
5 formulée par ledit système embarqué par transmission d'un message de requête MRCA contenant ladite clé publique K_p à une autorité de certification CA est remarquable en ce qu'il consiste, préalablement à toute transmission d'une requête de certification, lors de la configuration de ces
10 systèmes embarqués par cet opérateur habilité, pour tous les systèmes embarqués Si d'un ensemble L_k de systèmes embarqués :

- à faire engendrer par cet opérateur habilité, pour cet ensemble donné de systèmes embarqués, une clé
15 publique mère K_{pM} et une clé privée mère K_{sM} ;

- à publier ladite clé publique mère K_{pM} associée d'une part à l'identité de cet opérateur habilité OP_j et d'autre part à cet ensemble L_k de systèmes embarqués ; et pour chaque système embarqué appartenant à la plage
20 d'identifiants définie par l'ensemble L_k de systèmes embarqués :

- à faire engendrer par cet opérateur habilité, à partir de ladite clé privée mère K_{sM} et du numéro de série SN_i du système embarqué, une clé privée diversifiée K_{sM_i} et à mémoriser, dans ladite zone mémoire à accès externe
25 protégé en écriture/lecture, ladite clé privée diversifiée K_{sM_i}, et préalablement à toute transmission d'une requête de certification,

- à faire engendrer par l'intermédiaire du système embarqué une requête de certification RCA, contenant en
30 particulier un champ de clé publique CA₁, K_p et les indicateurs d'usage U de cette clé publique;

- à faire engendrer par l'intermédiaire du système embarqué, au moyen desdits moyens de calcul et de ladite clé diversifiée KsM_i , associée à ce système embarqué, une valeur de contrôle cryptographique Sc_i sur l'ensemble de la requête RCA, cette valeur de contrôle cryptographique étant une signature numérique calculée au moyen de la clé privée diversifiée KsM_i ; et lors de l'émission, par le système embarqué, d'une requête de certification à l'autorité de certification :

- à former un message de requête de certification MRCA contenant la requête RCA, l'identifiant IDd_i du système embarqué, ce dernier étant constitué d'une part de l'identifiant OP_j de cet opérateur habilité et d'autre part du numéro de série SN_i du système embarqué, et la valeur de contrôle cryptographique Sc_i ,

- à transmettre à l'autorité de certification CA ledit message de requête MRCA formé lors de l'étape précédente et contenant les champs de clé publique $CA1, Kp$ et les indicateurs d'usage U , objets de ladite certification, et ladite valeur de contrôle cryptographique Sc_i ;

- à retrouver, lors de la réception d'un message de requête de certification MRCA par l'autorité de certification, l'identité de l'opérateur habilité OP_j à partir de l'identifiant IDd_i du système embarqué,

- à retrouver, à partir de l'identifiant OP_j de l'opérateur habilité, la valeur de la clé publique mère KpM associée à l'ensemble Lk auquel appartient le système embarqué ;

- à vérifier, à partir de ladite clé publique mère KpM , dudit numéro de série SN_i du système embarqué, dudit message de requête de certification reçue MRCA, ladite valeur de contrôle cryptographique Sc_i , ce qui permet

d'établir l'authenticité de cette valeur de contrôle cryptographique et de l'origine de cette requête de certification.

5 Le procédé de vérification d'une requête de certification de clé engendrée par un système embarqué, objet de l'invention, s'applique à tout type de système embarqué, mais plus particulièrement à des systèmes embarqués en nombre constitués chacun par une carte à microprocesseur ou analogue.

10 Il sera mieux compris à la lecture de la description et à l'observation des dessins ci-après dans lesquels, outre la figure 1 relative à un système embarqué, constitué par une carte à microprocesseur de type classique,

15 - la figure 2a représente, à titre d'exemple non limitatif, un organigramme de l'ensemble des opérations ou étapes permettant la mise en œuvre du procédé objet de la présente invention, c'est à dire de la génération d'une requête de certification générée par le système embarqué;

20 - la figure 2b représente, à titre d'exemple non limitatif, un organigramme d'une variante de mise en œuvre du procédé, objet de la présente invention, tel que représenté en figure 2a et dans lequel un contrôle de la syntaxe d'un gabarit de requête de certification fournie au système embarqué est effectué par le système embarqué,
25 préalablement à la génération de ladite requête de certification ;

- la figure 3 représente, sous forme d'un diagramme fonctionnel, le détail de l'étape du procédé mis en œuvre
30 ainsi qu'illustré en figure 2a ou 2b, dans laquelle une clé privée diversifiée est calculée pour chaque système embarqué ;

- la figure 4a représente, à titre d'exemple non limitatif, la structure d'un message de requête de certification dans une version simplifiée, permettant la mise en œuvre du procédé objet de l'invention tel que représenté en figure 2a ;

- la figure 4b représente, à titre d'exemple non limitatif, la structure d'un message de requête de certification dans une version améliorée et codé au format ASN1 selon une structure TLV, plus particulièrement destinée à la mise en œuvre du procédé objet de l'invention tel que représenté en figure 2b ;

- la figure 5 représente, sous forme d'un diagramme fonctionnel, le détail de l'étape du procédé mis en œuvre ainsi qu'illustré en figure 2a ou 2b, dans laquelle une vérification du message de requête est effectuée par l'autorité de certification ;

- la figure 6 représente une variante particulièrement avantageuse de mise en œuvre du procédé objet de la présente invention, dans laquelle à la clé privée associée à une clé publique, objet d'une requête de certification, est associée une clé symétrique de chiffrement/déchiffrement faible, au système embarqué correspondant étant ainsi conféré une fonction de chiffrement/déchiffrement faible, satisfaisant aux dispositions légales en vigueur dans certains pays en vue d'une commercialisation de ces systèmes en l'absence d'une autorisation préalable ;

- la figure 7 représente un système embarqué permettant la mise en œuvre du procédé objet de l'invention.

Une description plus détaillée du procédé de vérification de la requête de certification d'une clé publique conforme à l'objet de la présente invention sera

maintenant donnée en liaison avec les figures 2a, 2b et les figures suivantes.

5 Préalablement à la description détaillée des étapes nécessaires à la mise en œuvre du procédé en liaison avec les figures précitées, des considérations d'ordre général visant à illustrer le contexte de mise en œuvre du procédé, objet de la présente invention, seront données ci-après.

10 D'une manière générale, le procédé objet de la présente invention permet d'assurer la vérification d'une requête de certification de clé publique engendrée par un système embarqué, cette vérification comportant notamment la vérification de l'origine de cette requête, mais également compte tenu de la vérification ainsi effectuée et de la certitude ainsi obtenue de l'origine de cette
15 requête, d'avoir la certitude que la clé privée correspondant à la clé publique générée faisant l'objet de la présente requête de certification ne pourra servir qu'à des usages bien spécifiés, telle la génération de signature numérique ou le déchiffrement de clés symétriques faibles.

20 Les clés publiques étant, comme leur nom l'indique, publiques, il ne saurait être question de pouvoir limiter l'usage de ces clés pour le chiffrement. Cependant les clés privées étant nécessairement protégées, le mécanisme de protection mis en œuvre pourra être en mesure d'empêcher
25 l'usage de clés privées RSA à des fins de déchiffrement. Si donc l'opération de chiffrement ne peut être interdite, l'opération de déchiffrement peut l'être et donc le processus de chiffrement/déchiffrement devient ainsi impossible. La procédure mise en œuvre s'appuie sur le fait
30 qu'il est possible de s'assurer que la clé privée correspondant à une clé publique donnée ne pourra être utilisée à des fins de déchiffrement de par le fait qu'il est possible d'être sûr qu'elle est effectivement contenue

dans un système embarqué protégé empêchant son usage à des fins de déchiffrement.

5 Afin de s'assurer qu'une clé donnée est attachée à une entité donnée, une technique de certification des clés est actuellement largement utilisée. Cette technique consiste à faire engendrer par une Autorité de Certification AC un certificat de clé publique qui associe à un nom d'entité donné, un identifiant d'algorithme à clé publique CA1, une valeur de clé publique Kp, pour des usages donnés U et ce, pour une période de validité donnée. 10 Un exemple de tel certificat est connu sous le nom de certificat X.509 du nom de la norme de l'ITU (International Telecommunications Union) qui l'a normalisé.

15 Afin de pouvoir participer à une architecture supportant des clés publiques il est nécessaire de pouvoir disposer d'un certificat de clé publique. Pour cela il est nécessaire de formuler une requête qui comporte les informations que le demandeur souhaite voir figurer dans son certificat. Cette requête comporte en particulier 20 l'identifiant de l'algorithme utilisé CA1, la valeur de la clé publique Kp pour cet algorithme et les usages de cette clé U. Si la requête émane directement de l'entité il est impossible de connaître les protections mises en œuvre pour la clé privée correspondante. Cependant si la requête émane 25 directement d'un système embarqué protégé empêchant l'usage de la clé privée à des fins de déchiffrement, alors il est possible de s'assurer que la clé privée correspondant à la clé publique qui fait l'objet de la demande de certification ne pourra être utilisable que pour les usages 30 indiqués, par exemple à des fins de génération de signature ou de déchiffrement de clés faibles. C'est l'un des objets du procédé objet de la présente invention, lequel sera

décrit ci-après en détail en liaison avec les figures 2a et 2b.

Le procédé, objet de la présente invention, sera décrit maintenant dans le cas non limitatif où le système embarqué est constitué par une carte à microprocesseur telle qu'une carte bancaire, une carte PCMCIA analogue.

De manière classique, ainsi que représenté sur la figure 1, une carte à microprocesseur 10 comprend un système d'entrée/sortie 12, reliée au microprocesseur 14, une mémoire RAM 16, une mémoire non volatile 18, constituée par une mémoire morte ROM 18b et une mémoire programmable 18a. L'ensemble de ces éléments est relié au microprocesseur 14 par une liaison par BUS. Un module 20 de calcul cryptographique de données est, en outre, ajouté. La mémoire non volatile 18 comporte habituellement une zone mémoire à accès protégé en écriture/lecture, notée MAP, l'accès de cette zone étant réservé au seul microprocesseur 14 à des fins d'utilisation purement interne.

En référence à la figure 1, on indique que dans une telle carte à microprocesseur, le module de calcul cryptographique peut contenir des programmes de génération ou vérification de signature, de chiffrement/déchiffrement mis en œuvre à partir de processus dits "forts" supportés par l'algorithme RSA par exemple, ainsi que des processus dits "faibles" supportés par des algorithmes tel que le DES limité à des tailles de clé de 40 bits par exemple.

Conformément à la figure 2a, un opérateur habilité, identifié par un identifiant OP_i, est en situation à l'étape 1000 de procéder à une configuration d'un ensemble de systèmes embarqués, cet ensemble étant noté Lk. D'une manière pratique, on indique que cet ensemble correspond à un lot de systèmes embarqués tel que des cartes à microprocesseur par exemple, que cet opérateur souhaite

distribuer dans le commerce. Cet opérateur habilité peut bien entendu être soit le fabricant de cartes à mémoire soit tout sous-traitant habilité par ce dernier ou par une autorité publique ou privée agréée. Chaque système embarqué est en outre doté d'un numéro d'identification noté SN_i et, dans le cadre de la mise en œuvre du procédé, objet de la présente invention, chaque système embarqué S_i appartenant à l'ensemble L_k donné est donc muni d'un numéro d'identification, noté IDd_i constitué par l'identifiant de l'opérateur habilité OP_j et par le numéro de série SN_i de ce système embarqué.

Afin de vérifier notamment l'origine de la requête de certification d'une clé publique issue d'un jeu de clés asymétriques, clé publique K_p et clé privée K_s , engendrées par un système embarqué appartenant à l'ensemble de systèmes embarqués précité, ces clés publique K_p et privée K_s étant engendrées pour un usage donné tel que le chiffrement/déchiffrement ou la vérification/génération de signature numérique par exemple, le procédé objet de la présente invention consiste, préalablement à toute transmission d'une requête de certification, lors d'une étape de configuration des systèmes embarqués par l'opérateur habilité à réaliser cette configuration, à faire engendrer, en une étape 1001, par cet opérateur habilité et pour l'ensemble de systèmes embarqués, une clé publique mère, notée K_{pM} , et une clé privée mère K_{sM} destinées à être mises en œuvre dans le cadre d'un processus supporté par l'algorithme CalM relatif aux clés K_{pM} et K_{sM} .

L'étape 1001 précitée, suivie d'une étape 1002 consistant à publier la clé publique mère K_{pM} associée d'une part à l'identité de l'opérateur habilité OP_j et d'autre part à l'ensemble L_k de systèmes embarqués. Ainsi

que représenté à l'étape 1002 sur la figure 2a, cette publication peut consister en une publication de quatre valeurs liées sous forme d'une liste par exemple, c'est-à-dire de l'identifiant de l'opérateur habilité OP_j , d'une
5 - plage d'identifiants définie par l'ensemble L_k et bien entendu de la valeur de la clé publique mère KpM associée au code indicateur de l'algorithme à mettre en œuvre $CAlM$. La plage d'identifiants peut être constituée par un identifiant de début et de fin de plage.

10 Lors de cette étape de configuration par l'opérateur habilité, on indique que la création des clés, clé publique mère KpM et clé privée mère KsM , est directement dépendante de l'algorithme utilisé et ne peut donc être décrite de manière indépendante du processus
15 supporté par l'algorithme mis en œuvre. Le type d'algorithme à mettre en œuvre est cependant précisé ci-après.

A la suite de l'étape 1002 précitée, le procédé, objet de la présente invention consiste, pour chaque
20 système embarqué S_i appartenant à l'ensemble L_k des systèmes embarqués, à calculer en une étape 1003, à partir de la clé privée mère KsM et du numéro de série SN_i de chaque système embarqué considéré S_i , une clé privée diversifiée, notée KsM_i .

25 Conformément à un aspect particulièrement avantageux du procédé, objet de la présente invention, la clé privée diversifiée KsM_i est alors mémorisée dans la zone mémoire à accès externe protégé en lecture/écriture MAP de la carte à microprocesseur constituant le système
30 embarqué.

D'une manière générale, on indique que la clé privée diversifiée KsM_i est unique et distincte pour chaque

système embarqué dont l'identifiant SN_i est différent dans l'ensemble Lk.

Suite à l'étape 1003 précédemment mentionnée, le procédé, objet de la présente invention, consiste, dans une version avantageuse, préalablement à toute transmission d'une requête de certification et pour toute clé publique K_p à certifier à la demande de chaque système embarqué Si considéré, cette demande étant bien entendu formulée par un utilisateur Uti , c'est-à-dire par une entité, à faire engendrer, en une étape 1004-5, par l'intermédiaire du système embarqué, une requête de certification RCA contenant en particulier un champ de clé publique $CA1, K_p$ et les indicateurs d'usage U de cette clé publique. Lorsque la requête de certification RCA est engendrée directement par le système embarqué, le procédé peut consister à engendrer, au niveau du système embarqué, la requête de certification RCA. Celle-ci est alors composée de trois champs, soit un identifiant d'algorithme à clé publique $CA1$, une valeur de clé publique K_p et un indicateur des usages de cette clé U .

Dans un mode de réalisation spécifique non limitatif, l'étape 1004-5 peut par exemple consister à communiquer, en une étape 1004, au système embarqué d'identifiant SN_i considéré, un gabarit de requête de certification, noté GRCA, ce gabarit contenant tous les champs requis hormis les champs de clé publique de déchiffrement ou de vérification de signature numérique ainsi que les indicateurs d'usage U de la clé publique K_p , objets de la certification demandée.

La vérification du gabarit de requête de certification GRCA sera décrite de manière plus détaillée ultérieurement dans la description.

Le gabarit de requête de certification GRCA permet alors, en une étape 1005, au système embarqué considéré,

d'effectuer une opération consistant à compléter les champs manquants du gabarit de requête de certification GRCA. Ainsi, le champ de clé publique, champ comportant l'identifiant d'un algorithme CA1 de
5 chiffrement/déchiffrement ou de calcul de signature, par exemple l'algorithme RSA précité, et une valeur de clé publique K_p , objet de la certification demandée, ainsi que le champ relatif aux indicateurs d'usage U de cette clé publique sont complétés afin de reconstituer une requête de
10 certification complète, notée RCA, à l'étape 1005 suivante.

Sur la figure 2a, on a représenté l'étape 1005 comme consistant à faire effectuer le complément par le système embarqué des champs manquants précités, le symbole + représentant cette opération de complément. D'une manière
15 générale, on indique que l'opération de complément précitée peut consister soit à attribuer des valeurs adéquates à des valeurs fictives déjà présentes dans le gabarit de requête de certification GRCA dans des champs déterminés, soit le cas échéant à compléter ce gabarit de requête par des
20 opérations de concaténation au moyen de ces valeurs adéquates ainsi qu'il sera décrit ultérieurement dans la description.

L'étape 1004-5 ou l'étape 1005 précitée est alors suivie d'une étape 1006 consistant à calculer, grâce à la
25 mise en œuvre du module de calcul du système embarqué considéré et de la clé diversifiée K_{SM_i} associée à ce système embarqué à l'étape 1003, une valeur de contrôle cryptographique, notée Sc_i .

D'une manière générale, on indique que la valeur de
30 contrôle cryptographique précitée est calculée sur l'ensemble de la requête complétée RCA ainsi que sur l'identifiant IDd_i du système embarqué considéré. On rappelle que l'identifiant IDd_i du système embarqué Si est

constitué par l'identifiant Op_j de l'opérateur habilité et par le numéro de série SN_i du système embarqué.

De préférence, la valeur de contrôle cryptographique Sc_i est une signature numérique calculée au moyen de la clé privée diversifiée KSM_i .

Pour cette raison la valeur de contrôle cryptographique vérifie la relation :

$$Sc_i = S_{KSM_i}(RCA, IDd_i)$$

Dans cette relation, on indique que l'indice KSM_i affecté à l'opération de signature S indique le calcul de cette signature à partir de la clé privée diversifiée KSM_i sur les arguments RCA et IDd_i .

Le procédé, objet de la présente invention, consiste alors, lors de l'émission par le système embarqué considéré d'une requête de certification à l'autorité de certification, cette opération étant notée "Requête par Ut_i " sur la figure 2a, à former, à l'extérieur du système embarqué, en une étape 1007, un message de requête de certification, noté $MRCA$, composé de la requête complétée RCA par le système embarqué considéré, de l'identifiant du système embarqué, ainsi que de la valeur de contrôle cryptographique Sc_i considérée.

Suite à l'étape 1007 précitée, une étape 1008 est prévue, laquelle consiste à transmettre à l'autorité de certification CA le message de requête $MRCA$ formé lors de l'étape 1007 précédente. Le message $MRCA$ contient en particulier la requête de certification complétée de la clé publique Kp dont la certification est demandée ainsi que de ses indicateurs d'usage U , cette clé publique Kp et ces indicateurs d'usage étant ainsi l'objet de la certification demandée précitée.

Le procédé, objet de la présente invention, consiste ensuite, lors de la réception d'un message de

requête de certification MRCA précité, pour l'autorité de certification, à effectuer les opérations consistant à l'étape 1009 à retrouver l'identité de l'opérateur habilité OP_j , ainsi que l'identifiant SN_i du système embarqué à partir de l'identifiant IDd_i du système embarqué, puis, à l'étape 1010, à retrouver, la plage d'identifiants L_k à laquelle appartient l'identifiant SN_i à partir des données publiées par l'opérateur Op_j , puis, à l'étape 1011 à retrouver à partir des données de l'ensemble L_k , l'identifiant du processus supporté par l'algorithme à mettre en œuvre CALM, la valeur de la clé publique mère KpM associée à l'ensemble L_k .

On comprend en particulier qu'aux étapes 1009, 1010 et 1011, la publication à l'étape 1002 des variables liées OP_j , identifiant de l'opérateur habilité, L_k identifiant de l'ensemble considéré, CALM identifiant l'algorithme à mettre en œuvre, et KpM valeur de la clé publique mère associée à cet ensemble de systèmes embarqués, permette de retrouver successivement l'identifiant de cet opérateur habilité puis la valeur de la clé publique KpM ainsi que l'identifiant de l'algorithme à mettre en œuvre CALM par exemple à partir des quatre variables liées publiées.

Suite à l'obtention par l'autorité de certification de la valeur de la clé publique mère KpM précitée, une étape 1012 est alors réalisée, laquelle consiste à vérifier, à partir de la valeur de la clé publique mère KpM , du numéro de série SN_i du système embarqué et de la requête de certification complète reçue RCA, la valeur de contrôle cryptographique Sc_i . L'opération de vérification de la valeur de contrôle cryptographique Sc_i vérifie la relation :

$$S_{KPM}(S_{KSM_i})$$

On indique que cette opération de vérification consiste en une opération de vérification de signature, opération duale de l'opération de signature réalisée à l'étape 1006 pour obtenir la valeur de contrôle cryptographique Sc_1 . Ainsi, à
5 l'étape 1012, l'opération de vérification de signature est réalisée à partir de la clé publique mère KpM .

La mise en œuvre du procédé, objet de la présente invention, tel que décrit en liaison avec la figure 2a permet ainsi d'établir l'authenticité de la valeur de
10 contrôle cryptographique précitée et en conséquence, notamment, l'origine de la requête de certification présentée à l'autorité de certification.

Dans des conditions qui seront explicitées ultérieurement dans la description, la vérification de
15 cette requête, l'origine étant établie, permet, à partir de la valeur d'usage U précitée, de connaître de manière certaine le ou les usages dédiés qui peuvent être effectués avec la clé publique Kp , du fait des usages restrictifs sur les opérations pouvant être réalisés à l'aide de la clé
20 privée Ks contenue dans le système embarqué. On peut alors émettre un certificat à même de garantir l'usage qui peut être fait de cette clé publique du fait des restrictions sur les opérations pouvant être réalisés à l'aide de la clé privée correspondante. Cette garantie d'usage pourra
25 provenir de l'emploi combiné de deux informations qui seront alors présentes dans le certificat généré : d'une part l'indicateur d'usage de la clé publique et d'autre part un identifiant de politique de sécurité. Cette politique de sécurité pourra alors indiquer que la
30 génération de clé a été faite sur un système embarqué réunissant les qualités requises pour limiter l'usage des clés privées générées sur ce dit système embarqué. On pourra aussi utiliser toute autre champ d'extension du certificat

tel que cela est explicitement prévu par le standard X.509 v3.

5 Une variante de mise en œuvre du procédé, objet de la présente invention et permettant la vérification d'un gabarit de requête de certification GRCA, tel que décrit en figure 2a, sera maintenant donnée en relation avec la figure 2b. Dans les figures 2a et 2b, les mêmes étapes portent les mêmes références.

10 Ainsi qu'on pourra l'observer sur la figure 2b, suite à l'étape 1004 consistant à communiquer au système embarqué Si un gabarit de requête de certification GRCA mais préalablement à l'étape 1005 consistant à faire compléter par le système embarqué Si les champs manquants du gabarit de requête de certification GRCA, le procédé, 15 objet de la présente invention, peut consister en outre à vérifier, en une étape 1004a, au niveau du système embarqué Si considéré, la syntaxe du gabarit de requête de certification précité afin de s'assurer qu'il s'agit bien d'une requête de certification. L'étape 1004a peut alors 20 être suivie d'une étape 1004b consistant par exemple en une étape de test de la valeur vraie de cette vérification de syntaxe. A l'étape 1004a, la vérification de syntaxe est notée $V(\text{GRCA})$ et l'étape de test 1004b est notée $V(\text{GRCA})=\text{vraie}$.

25 L'étape 1005 consistant à faire compléter par le système embarqué Si les champs manquants du gabarit de requête de certification GRCA peut alors être conditionnée à une vérification positive, c'est-à-dire à une réponse positive à l'étape de test 1004b précédemment mentionnée.

30 Au contraire, sur réponse négative à l'étape 1004b précitée, un retour 1004c à l'étape de chargement du gabarit de requête de certification GRCA à l'étape 1004 peut alors être prévu.

L'étape de vérification de syntaxe peut être conduite par une vérification de la syntaxe du gabarit de requête de certification GRCA, le processus de vérification précité pouvant dépendre de la structure du gabarit de requête de certification utilisée. Un exemple de processus de vérification de syntaxe sera donné ultérieurement dans la description.

Ainsi, le procédé objet de la présente invention permet, selon un premier aspect, de donner l'usage de la clé privée K_s à l'entité et en aucun cas de donner la connaissance de la valeur de cette clé privée à cette entité. Afin d'empêcher la connaissance de la valeur de la clé privée, le couple clé privée/clé publique est engendré par le système embarqué protégé et la clé privée est mise en œuvre par un algorithme situé directement dans le système embarqué. En aucun cas elle ne peut donc être connue à l'extérieur du système embarqué.

Selon un deuxième aspect remarquable du procédé objet de l'invention, afin de vérifier que la demande de certification d'une clé publique émane bien du système embarqué le procédé met en œuvre plusieurs techniques. En particulier il met en œuvre le calcul d'une somme de contrôle cryptographique qui permet de s'assurer que la requête émane bien d'un système embarqué personnalisé par l'opérateur OPj. L'état de l'art met déjà en œuvre certaines de ces techniques qui s'avèrent être peu souples d'emploi, comme il va être rappelé ci-dessous. Une première technique consiste à mettre dans chaque système embarqué une clé secrète à partir de laquelle sera effectué le calcul de la somme de contrôle cryptographique. L'inconvénient majeur de cette technique connue est de devoir communiquer à l'avance à chaque autorité de certification potentielle, et de manière confidentielle, la

valeur secrète de chaque système embarqué. Une première amélioration du dispositif consiste à utiliser un secret mère et à calculer le secret de chaque système embarqué à partir à la fois du numéro de série du système embarqué et
5 du secret mère. L'inconvénient majeur, dans ce dernier cas, est de devoir communiquer à l'avance à chaque autorité de certification potentielle et de manière confidentielle la valeur secrète de chaque secret mère correspondant à un ensemble donné de systèmes embarqués.

10 Une originalité de l'invention est au contraire de ne communiquer au préalable aucune information confidentielle mais de rendre accessible à chaque autorité de certification potentielle que des informations publiques, à savoir: un identifiant d'opérateur habilité
15 OP_j , une référence de l'ensemble L_k et bien entendu une valeur de la clé publique mère KpM associée à un indicateur de l'algorithme à mettre en œuvre CALM. Ces informations permettent alors à n'importe quelle autorité de certification de vérifier l'origine de la
20 requête de n'importe quel système embarqué faisant partie d'un ensemble de systèmes embarqués.

Une description plus détaillée de la mise en œuvre de l'étape 1003 de calcul de chaque clé privée diversifiée KsM_i sera maintenant donnée en liaison avec la figure 3, le
25 mode opératoire du calcul précité pouvant être mis en œuvre quel que soit le mode de réalisation du procédé, objet de l'invention, tel que décrit précédemment en liaison avec la figure 2a ou la figure 2b.

30 Le processus de diversification des clés mis en œuvre à l'étape 1003 tel que représenté en figure 3 peut ainsi consister en un processus supporté par un algorithme mis en œuvre sous le nom de Mécanisme de Signature à Apport Nul de Connaissance (zero knowledge en anglais) et des

algorithmes connus sous le nom de FIAT-SHAMIR ou GUILLOU-
QUISQUATER utilisables à cette fin. Pour cette raison,
ainsi qu'indiqué en figure 3, chaque clé privée diversifiée
KsM_i est réputée obtenue par la mise en œuvre de processus
5 supportés par les algorithmes de FIAT-SHAMIR F-S ou de
GUILLOU-QUISQUATER G-Q et vérifie ainsi la relation :

$$KsM_i = D-F-S(KsM, SN_i)$$

$$KsM_i = D-G-Q(KsM, SN_i)$$

relation dans laquelle D-F-S et D-G-Q désignent la mise en
10 œuvre des processus de diversification de clé supportés par
les algorithmes de FIAT-SHAMIR et de GUILLOU-QUISQUATER
respectivement.

La technique utilisée consiste à mettre dans chaque
système embarqué une clé privée diversifiée calculée à
15 partir du numéro de série du système embarqué et d'une clé
privée mère, laquelle clé diversifiée servira au calcul de
la somme de contrôle cryptographique. L'Autorité de
Certification CA sera alors en mesure de vérifier
l'exactitude de la somme de contrôle cryptographique ainsi
20 calculée en mettant en œuvre l'algorithme CALM
correspondant au type d'algorithme utilisé et en utilisant
uniquement le numéro de série du système embarqué et la clé
publique mère correspondant à l'ensemble Lk dont fait
partie le système embarqué.

25 De ce fait il n'est pas utile de connaître à
l'avance quelle Autorité de Certification sera choisie par
l'entité car chaque Autorité de Certification sera en
mesure, et en particulier postérieurement à la réception de
la requête de certificat, d'obtenir la clé publique mère
30 correspondant à l'ensemble dont le système embarqué fait
partie. La gestion d'un nombre important de systèmes
embarqués, par exemple plusieurs millions, se trouve ainsi
grandement simplifiée, permettant ainsi une large diffusion

de tels systèmes cryptographiques, en stricte conformité avec les dispositions législatives nationales en autorisant l'utilisation.

5 Différents éléments descriptifs de la structure de messages ou de données utilisés pour la mise en œuvre du procédé, objet de la présente invention, seront maintenant donnés en liaison avec les figures 4a à 4c.

10 Sur la figure 4a, on a représenté la structure d'un message de requête de certification dans une version simplifiée. Dans ce mode de réalisation simplifié, le système embarqué génère seul l'ensemble des champs de la requête RCA en concaténant les informations suivantes: le champ de clé publique qui comprend l'identifiant de l'algorithme utilisé CA1, la valeur de la clé publique Kp,
15 et un champ d'usage de clé U, objets de la certification demandée. Ces champs peuvent, par exemple, faire l'objet d'un codage conforme au standard ASN1, pour Abstract Syntax Notation 1 en vocable anglo-saxon, afin de pouvoir délimiter la taille de chaque champ et d'être sûr de la
20 nature de chaque champ. Enfin, la valeur cryptographique de contrôle Sc_i, est calculée sur les informations précédentes puis ajoutée aux informations précédentes.

Dans ce mode de réalisation simplifié, l'ensemble des champs précité permet la mise en œuvre du procédé,
25 objet de la présente invention, tel que représenté en figure 2a par exemple.

La figure 4b représente une structure de messages de requête complétée par exemple, au format conforme au codage ANS1 précité. Dans ce cas, le codage de ces messages
30 est effectué selon le mode dit TLV où T désigne le type du champ, L la longueur de celui-ci et V la valeur du champ.

Sur la figure 4b, au point 1), on a représenté dans un tel cas la structure d'un gabarit de requête de

certification GRCA, lequel est réputé formé par une suite de champs TLV séquentiels ou imbriqués conformes au standard ASN1. Ce gabarit de requête est formé à l'extérieur du système embarqué. Il devra comporter, et
5 cela est vérifié par le système embarqué, trois champs et seulement trois champs correspondant à : 1) un type de champ d'identifiant d'algorithme, 2) un type de champ de valeur de clé publique, 3) un type de champ d'un indicateur des usages de clé publique. L'emplacement de chacun de ces
10 champs parmi les autres champs du gabarit de requête doit en outre correspondre à un emplacement bien précis, c'est à dire être précédé et suivi de différents types de champs prédéterminés.

Dans ces conditions, à partir du gabarit de requête
15 de certification GRCA précité, la vérification de syntaxe représentée à l'étape 1004b de la figure 2b peut consister, à vérifier la valeur du type du premier champ, puis en fonction de ce type ou de la longueur de ce champ de passer au type suivant. Au passage il convient de mémoriser
20 l'ensemble des divers types rencontrés puis de vérifier que les trois types de champs attendus sont situés aux endroits où ils doivent être placés. Pour chacun des trois champs, il convient ensuite de vérifier leur longueur et pour le champ CA1 sa valeur. En effet, il s'agit de vérifier que le
25 type d'algorithme attendu correspond bien au type de clé généré et correspondant à cet algorithme. Pour les champs formés à l'extérieur du système embarqué qui devront contenir en définitive la valeur de la clé publique Kp et la valeur des indicateurs d'usage de la clé U ces derniers
30 peuvent contenir n'importe quelle valeur, les valeurs 0 ou 1 telles que représentées en figure 4b, puisque le système embarqué va leur substituer les valeurs adéquates et générées en interne.

Suite à la reconnaissance à la valeur vraie de la vérification ainsi effectuée, vérification notée V(GRCA) de l'étape 1004a de la figure 2b, les valeurs des deux champs peuvent être substituées par les valeurs générées par le système embarqué. Le champ d'usage U substitué peut
5 consister en une chaîne de bits, le premier bit représentant par exemple un usage de chiffrement/déchiffrement C/D, la valeur 1 indiquant le chiffrement et la valeur 0 l'absence de chiffrement, le
10 deuxième bit correspondant par exemple à un usage de signature numérique ou d'authentification A, le troisième bit correspondant par exemple à une opération de non-répudiation NR mettant en œuvre une signature numérique par exemple.

15 En ce qui concerne la valeur de la clé publique Kp, celle-ci peut être substituée à partir des valeurs de bit de cette clé correspondante.

Enfin, en référence à la figure 4c, la structure du gabarit de requête de certification GRCA, chargée à
20 l'initiative de l'utilisateur Uti, peut comporter un champ relatif à un identifiant de cet utilisateur Uti, un champ relatif à la valeur de la clé Kp, clé publique dont la certification est demandée par ce dernier, un champ relatif à l'usage ou aux usages de cette clé U et un champ Plu
25 relatif aux plages de validité ou d'utilisation de la clé Kp précitée.

De manière plus particulière, on indique que le champ relatif à l'identifiant de l'utilisateur Uti est rempli par l'utilisateur lors de sa demande de
30 certification, alors que les champs relatifs à la valeur de la clé Kp et le champ relatif aux usages de cette clé sont remplis par le système embarqué lui-même.

En ce qui concerne le champ relatif à l'identifiant de l'utilisateur Uti , celui-ci peut correspondre au numéro de série SN_i du système embarqué lui-même.

Une description plus détaillée de la mise en œuvre de l'étape 1012 consistant pour l'autorité de certification à vérifier le message de requête de certification MRCA et en particulier la valeur de contrôle cryptographique Sc_i sera décrite en liaison avec la figure 5.

D'une manière générale, on indique que cette étape de vérification est effectuée grâce à un processus de vérification de signature, en particulier de vérification de la valeur de contrôle cryptographique Sc_i , laquelle n'est autre qu'une signature obtenue à partir de la clé privée diversifiée KsM_i à l'étape 1006 précédemment décrite dans la description. Dans ces conditions, l'opération de vérification S_{KPM} consiste en l'opération duale de celle de celle réalisée à l'étape 1006 précitée.

Ainsi que représenté à la figure 5, les variables d'entrée, outre la clé publique mère KpM qui a été retrouvée suite à l'exécution des étapes 1009, 1010 et 1011 des figures 2a ou 2b, sont la valeur de contrôle cryptographique Sc_i et le message de requête de certification MRCA ainsi que l'identifiant IDd_i du système embarqué, c'est-à-dire l'identifiant de l'opérateur OP_i et le numéro de série SN_i du système embarqué considéré. L'opération de vérification précitée duale de l'opération de signature permet alors, à partir des variables entrées comme paramètres précédemment cités, une réponse par oui ou non, c'est-à-dire l'établissement de la valeur vraie ou de la valeur complétée de cette valeur vraie, considérée comme valeur fausse, de l'opération de vérification.

Alors que l'origine de la requête de certification a pu ainsi être vérifiée conformément à la mise en œuvre du

procédé, objet de la présente invention, tel que représenté en figure 2a et/ou 2b, le procédé précité permet également de moduler la puissance des traitements cryptographiques, c'est-à-dire de chiffrement/déchiffrement et calcul/vérification de signature, alloués à chaque système embarqué Si considéré.

Ainsi, conformément à un aspect particulièrement remarquable du procédé, objet de la présente invention, celui-ci permet, grâce à la certification demandée d'une clé publique donnée et des usages de cette clé publique, soit d'accréditer le système embarqué Si demandeur de cette certification pour réaliser des opérations de déchiffrement selon un processus supporté par un algorithme faible, ou encore de n'accréditer ce système embarqué ou l'entité titulaire de ce système embarqué que pour des opérations supportées par un algorithme limité à des opérations de calcul de signature seulement.

On comprend en particulier qu'en fonction de la valeur des bits de champ d'usage de la clé considérée, valeur d'usage codée par exemple sur 2 bits, la valeur 1X de ces 2 bits pouvant correspondre à un usage de déchiffrement selon un processus supporté par un algorithme faible, et la valeur X1 pouvant correspondre à une opération selon un processus supporté par un algorithme de génération de signature seulement, le système embarqué accrédité pourra réaliser l'une ou l'autre de ces opérations ou bien les deux opérations, mais pas d'autres opérations telles que le déchiffrement fort. Il est aussi précisé qu'un même système embarqué pourra comporter plusieurs clés, certaines comportant par exemple les bits d'usage avec la valeur 10 restreignant ainsi leur usage à des fins de déchiffrement faible et d'autres avec la valeur

01 restreignant ainsi leur usage à des fins de génération de signature.

Un processus de déchiffrement supporté par un algorithme faible, conformément à l'objet de la présente invention, sera maintenant décrit en liaison avec la figure 6.

De manière générale, on indique qu'une clé de chiffrement ou de déchiffrement utilisée par l'algorithme RSA, clé asymétrique, comprend en général 512 bits ou plus alors qu'une clé symétrique comporte généralement de 40 à 192 bits. Il est donc nécessaire de combler les bits restants, par exemple avec une entête. A titre d'exemple, il est possible, sur la chaîne de 512 bits ainsi créée, de prévoir une en-tête constituée par des valeurs spécifiques arbitraires fictives, les valeurs 02, 00 et en code hexadécimal FFF suivi de deux octets à la valeur 00 sur toute la valeur de l'en-tête auxquelles est concaténée une clé secrète symétrique, cadrée à droite, l'ensemble constituant une chaîne de bits de 512 bits. Dans le cas où la clé secrète symétrique KSF comporte 64 bits ou plus, le processus de déchiffrement à clé secrète symétrique est considéré comme fort et ne correspond pas à l'objet de la présente invention dans ce mode de réalisation.

Au contraire, lorsque le champ de clé secrète symétrique KSf est inférieur ou égal à 40 bits, le champ d'en-tête étant complété par exemple en conséquence par des valeurs hexadécimales FFF suivie d'un nombre prédéterminé de 00, le champ de clé secrète est un champ de clé secrète de déchiffrement symétrique faible et correspond ainsi à une fonction de déchiffrement faible susceptible d'être mise en œuvre conformément au procédé objet de la présente invention.

Dans un tel cas et conformément à un aspect particulièrement remarquable du procédé, objet de la présente invention, pour un jeu de clés asymétriques, clé publique de chiffrement notée E_p et clé privée de déchiffrement D_s engendrées par le système embarqué Si, la clé de chiffrement E_p correspondant à la clé publique K_p dont la certification est demandée ainsi que mentionné précédemment dans la description et la clé privée de déchiffrement D_s correspondant à la clé privée K_s mentionnée précédemment dans la description, le procédé objet de l'invention consiste alors à associer à la clé de déchiffrement D_s et au processus de déchiffrement asymétrique correspondant, supporté par exemple par l'algorithme RSA, un processus et une clé de déchiffrement faible supporté par exemple par l'algorithme DES et dont la clé symétrique est de longueur inférieure ou égale à 40 bits. Ainsi, en référence à la figure 6, on indique que la clé secrète symétrique faible, notée KS_f , complétée de son en-tête de valeur arbitraire telle que mentionnée précédemment dans la description, est soumise à un processus de chiffrement pour obtenir une clé chiffrée à partir de la clé publique E_p de chiffrement asymétrique. La clé chiffrée ainsi obtenue est soumise ensuite à un processus de déchiffrement au moyen de la clé privée de déchiffrement asymétrique D_s alors que, conformément au procédé objet de la présente invention, cette clé privée de déchiffrement D_s est mémorisée dans la zone mémoire à accès externe protégé en écriture/lecture du système embarqué et est donc inconnue de l'utilisateur. Le processus de déchiffrement précité permet alors d'obtenir une clé déchiffrée dont la structure n'est autre que l'en-tête précédemment mentionnée dans la description et la clé symétrique faible KS_f dont la longueur est déterminante.

Si la longueur de la clé symétrique faible KSf est inférieure ou égale à 40 bits, l'en-tête étant simplement discriminée par référence aux valeurs d'en-tête correspondantes et la clé symétrique et en particulier la
5 clé symétrique faible KSf étant également discriminées en conséquence, cette clé symétrique faible KSf peut alors être mise à disposition de l'entité possédant le système embarqué pour des opérations de déchiffrement selon un processus supporté par un algorithme faible. Dans ces
10 conditions, la clé symétrique de déchiffrement faible KSf permet à ce dernier de n'assurer que le déchiffrement de cryptogrammes C en messages M au moyen d'un algorithme de déchiffrement faible ainsi que représenté sur la figure 6.

Si au contraire, la longueur de la chaîne de bits
15 représentative de la clé symétrique autre que l'en-tête précitée est supérieure à 40 bits la clé symétrique, dont la longueur est supérieure à 40 bits, n'est pas mise à disposition de l'entité possédant le système embarqué, laquelle n'est donc pas en mesure d'opérer des opérations
20 de déchiffrement selon un processus supporté par un algorithme fort.

Un système embarqué permettant, notamment, la mise en œuvre du procédé objet de la présente invention sera maintenant décrit en liaison avec la figure 7. De manière
25 non limitative, ce système embarqué est représenté et décrit sous la forme d'une carte à microprocesseur.

En référence à la figure 7 précitée, le système embarqué comprend, de manière classique, les mêmes éléments que ceux décrits en relation avec la figure 1, à savoir une
30 unité de calcul 14, une mémoire vive 16, une mémoire non volatile 18 comportant une mémoire programmable 18a comprenant une zone mémoire à accès externe protégé MAP, un module de calcul cryptographique 20 et un système

d'entrée/sortie 12 reliés par une liaison de type BUS. Afin de permettre la mise en œuvre du procédé objet de la présente invention, ce système embarqué comporte au moins une clé diversifiée KsM_i mémorisée dans la mémoire MAP à accès externe protégé. Cette clé privée diversifiée est
5 unique et distincte pour ce système embarqué. Elle est calculée à partir d'une clé privée mère KsM et d'un numéro d'identification de ce système embarqué et est associée à une clé publique mère KpM .

10 Le module cryptographique 20 comporte un module de calcul de signature MCS à partir de la clé privée diversifiée KsM_i , permettant de calculer la signature d'une requête de certification d'une clé publique Kp associée à une clé privée Ks de chiffrement, respectivement de
15 signature. La clé privée Ks est engendrée par le module MCS de calcul de signature et mémorisée dans la mémoire à accès protégé MAP. La signature d'une requête de certification est fonction du numéro d'identification de ce système embarqué. Le module de calcul de signature MCS permet de
20 transmettre à une autorité de certification un message de requête de certification comprenant cette requête de certification et la signature précitée. Ceci permet à l'autorité de certification de vérifier l'origine de la requête de certification de ce système embarqué 10 et la
25 protection des clé privée diversifiée KsM_i et clé privée de signature Ks dans la mémoire à accès externe protégé MAP à partir de seuls éléments publics, tels que la clé publique mère KpM . En ce qui concerne le module de calcul de signature MCS, ce dernier peut être implanté dans une
30 partie mémoire morte ROM 18b de la mémoire non volatile 18 et appelé sur requête par le module de calcul cryptographique 20.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de vérification de l'usage de clés publiques issues d'un jeu de clés asymétriques, clé publique (Kp) et clé privée (Ks) engendrées, pour un usage
5 donné, tel que le chiffrement/déchiffrement ou la vérification/génération de signature numérique, par un système embarqué et mémorisées dans la zone mémoire d'un système embarqué (S_i) muni de moyens de calcul cryptographique et de moyens de mémorisation de données
10 numériques à accès externe protégé en écriture/lecture, ces données numériques (ID_{d_i}) comportant au moins un numéro de série (SN_i) permettant l'identification du système embarqué et un code d'identification (Op_j) d'un opérateur habilité à configurer ledit système embarqué et cette requête étant
15 formulée par ledit système embarqué par transmission d'un message de requête (MRCA) contenant ladite clé publique (Kp) à une autorité de certification (CA), caractérisé en ce que ce procédé consiste :

- préalablement à toute transmission d'une requête
20 de certification, lors de la configuration de ces systèmes embarqués par cet opérateur habilité pour tous les systèmes embarqués (S_i) d'un ensemble (Lk) de systèmes embarqués :
 - à faire engendrer par cet opérateur habilité, pour cet ensemble donné de systèmes embarqués, une clé publique
25 mère (KpM) et une clé privée mère (KsM) mis en œuvre dans le cadre d'un processus supporté par un algorithme (CALM) ;
 - à publier ladite clé publique mère (KpM) associée à l'algorithme (CALM), l'identité de cet opérateur habilité (Op_j) et à un ensemble (Lk) définissant une
30 plage d'identifiants de systèmes embarqués ;
 - à calculer, pour chaque système embarqué appartenant à cet ensemble (Lk) de systèmes embarqués, à partir de

ladite clé privée mère (K_{SM}) et du numéro de série (SN_i) du système embarqué, une clé privée diversifiée (K_{SM_i}) et à mémoriser, dans ladite zone mémoire à accès externe protégé en écriture/lecture, ladite clé privée diversifiée (K_{SM_i}), et

• préalablement à toute transmission d'un message de requête de certification :

- à faire engendrer par l'intermédiaire du système embarqué une requête de certification (RCA), contenant en particulier un champ de la clé publique (CA_1, K_p) et les indicateurs d'usage (U) de cette clé publique,
- à calculer, au moyen desdits moyens de calcul et de ladite clé diversifiée (K_{SM_i}) associée à ce système embarqué, une valeur de contrôle cryptographique (Sc_i) sur l'ensemble de la requête (RCA), ladite valeur de contrôle cryptographique étant une signature numérique calculée au moyen de la clé privée diversifiée (K_{SM_i});

• lors de l'émission, par le système embarqué, d'une requête de certification à l'autorité de certification :

- à former un message de requête de certification (MRCA) contenant la requête (RCA), l'identifiant (ID_{d_i}) du système embarqué, ce dernier étant constitué d'une part de l'identifiant (OP_j) de cet opérateur habilité et d'autre part du numéro de série (SN_i) du système embarqué, et la valeur de contrôle cryptographique (Sc_i)
- à transmettre à l'autorité de certification (CA) ledit message de requête (MRCA) formé lors de la phase précédente et contenant la clé publique (K_p) et les indicateurs d'usage (U), objets de ladite certification, et ladite valeur de contrôle cryptographique (Sc_i) ;

• lors de la réception d'un message de requête de certification (MRCA) par l'autorité de certification :

- à retrouver, l'identité de l'opérateur habilité (OP_j) à partir de l'identifiant (IDd_i) du système embarqué,
- à retrouver, à partir dudit identifiant (OP_j) de cet opérateur habilité la valeur de la clé publique mère (KpM) ainsi que l'identifiant de l'algorithme ($CAlM$) associé à l'ensemble auquel appartient le système embarqué,
- à vérifier à partir de ladite clé publique mère (KpM), dudit numéro de série (SN_i) du système embarqué, dudit message de requête de certification reçu ($MRCA$), ladite valeur de contrôle cryptographique (Sc_i), ce qui permet d'établir l'authenticité de cette valeur de contrôle cryptographique et l'origine de cette requête de certification.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, lorsque la requête de certification est engendrée par le système embarqué, celui-ci consiste en outre :

- à générer, au niveau du système embarqué, la requête de certification (RCA), laquelle est alors composée de trois champs à savoir: un identifiant d'algorithme à clé publique (CAI), une valeur de clé publique (Kp), et un indicateur des usages de cette clé (U).

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, lorsque la requête de certification est complétée par le système embarqué lors de l'étape consistant à communiquer audit système embarqué un gabarit de requête de certification ($GRCA$), celui-ci consiste en outre :

- à vérifier, au niveau du système embarqué, la syntaxe du gabarit de requête de certification ($GRCA$) afin de s'assurer qu'il s'agit d'une requête de certification bien formée, et
- à conditionner à une vérification positive, l'étape consistant à faire compléter par le système embarqué les

champs manquants du gabarit de requête de certification (GRCA).

4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, pour un jeu de clés asymétriques de signature (K_p), (K_s) engendrées par ledit système embarqué, les moyens de calcul cryptographique de ce système embarqué, n'autorisant d'utiliser la clé privée (K_s) qu'à des fins de génération de signature, ladite clé privée (K_s) mémorisée dans ladite zone mémoire à accès externe protégé en écriture/lecture étant inconnue de l'utilisateur et restreinte d'utilisation à des fins exclusives de signature numérique, l'utilisation de ladite clé est restreinte à des fins de signature et l'utilisation du certificat contenant la clé publique correspondante est limitée en pratique à des fins de vérification de signature.

5. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, pour un jeu de clés asymétriques clé publique de chiffrement (E_p) et clé privée de déchiffrement (D_s) engendrées par ledit système embarqué, celui-ci consiste à associer auxdites clés (E_p), (D_s) et processus de déchiffrement asymétrique un processus et une clé de déchiffrement symétrique "faible", la clé symétrique de déchiffrement étant chiffrée puis déchiffrée au moyen de la clé privée de déchiffrement asymétrique (D_s), ladite clé privée (D_s) mémorisée dans ladite zone mémoire à accès externe protégé en écriture/lecture étant inconnue de l'utilisateur, ce qui permet de n'autoriser l'utilisation de ladite clé qu'à des fins de déchiffrement faible et l'utilisation du certificat contenant la clé publique correspondante étant limitée en pratique à des fins de chiffrement faible.

6. Système embarqué comprenant une unité de calcul, une mémoire vive, une mémoire non volatile comportant une

mémoire programmable comprenant une zone mémoire à accès externe protégé, un module de calcul cryptographique et un système d'entrée/sortie reliés par une liaison de type BUS, caractérisé en ce que ledit système embarqué comporte au moins :

- une clé diversifiée KsM_1 mémorisée dans ladite mémoire à accès externe protégé, ladite clé privée diversifiée unique et distincte pour ce système embarqué calculée à partir d'une clé privée mère KsM et d'un numéro d'identification de ce système embarqué étant associée à une clé publique mère KpM ; ledit module de calcul cryptographique comportant
 - des moyens de calcul de signature, à partir de ladite clé privée diversifiée KsM_1 , permettant de calculer la signature d'une requête de certification d'une clé publique Kp associée à une clé privée Ks de chiffrement, respectivement de signature, ladite clé privée Ks engendrée par lesdits moyens de calcul de signature étant mémorisée dans ladite mémoire à accès protégé, cette signature d'une requête de certification étant fonction du numéro d'identification de ce système embarqué, lesdits moyens de calcul de signature permettant de transmettre à une autorité de certification un message de requête de certification contenant ladite requête de certification et ladite signature, ce qui permet à ladite autorité de certification de vérifier l'origine de la requête de certification de ce système embarqué et la protection desdites clé privée diversifiée et clé privée de signature dans ladite mémoire à accès externe protégé à partir de seuls éléments publics, tels que ladite clé publique mère KpM .

THIS PAGE BLANK (USPTO)

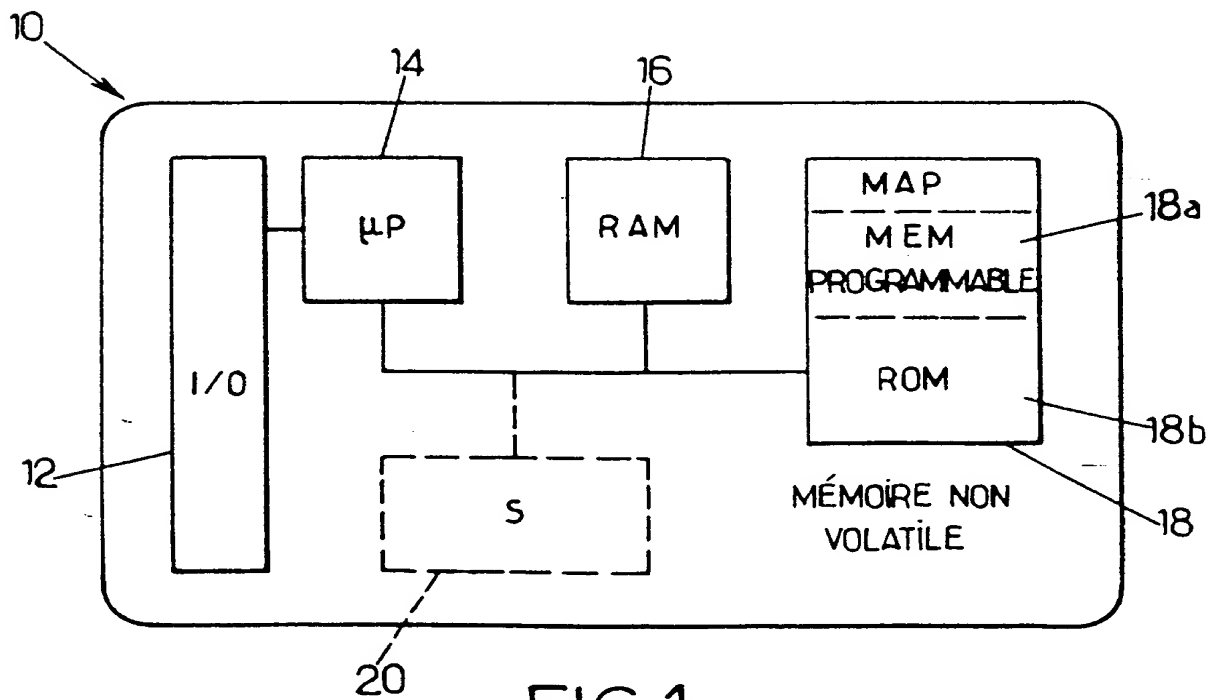
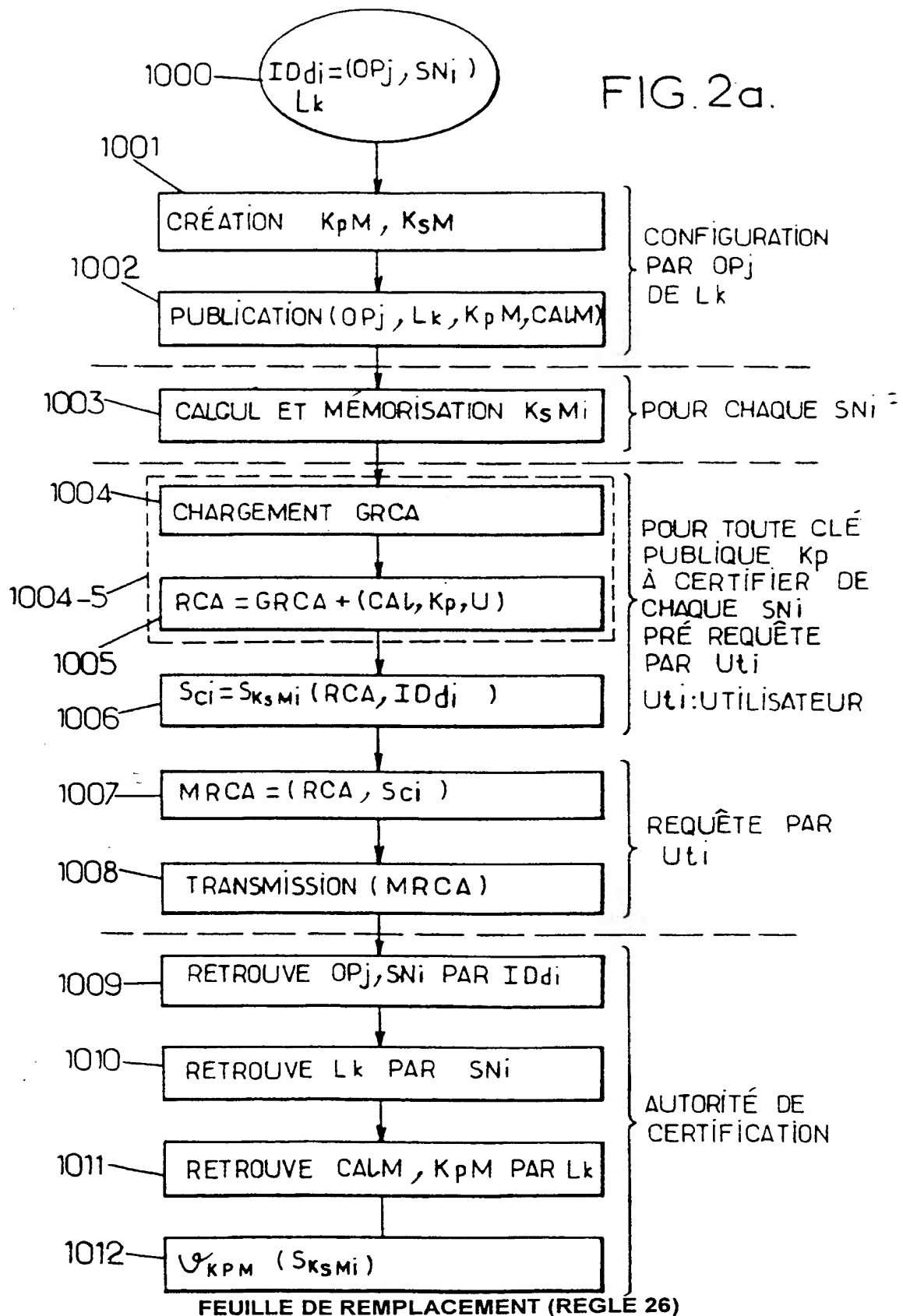


FIG.1.
(ART ANTÉRIEUR)

THIS PAGE BLANK (USPTO)

2/6

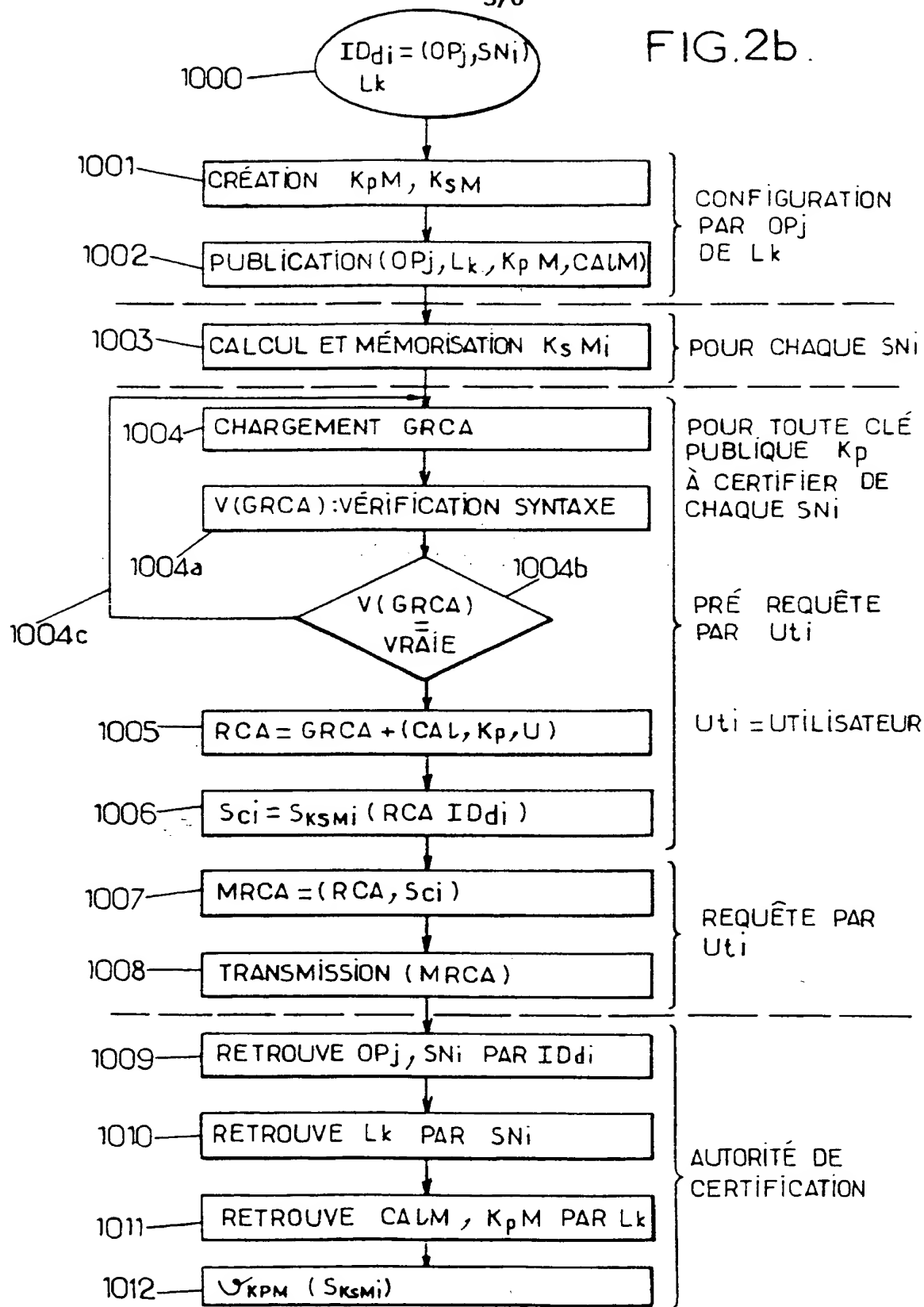
FIG. 2a.



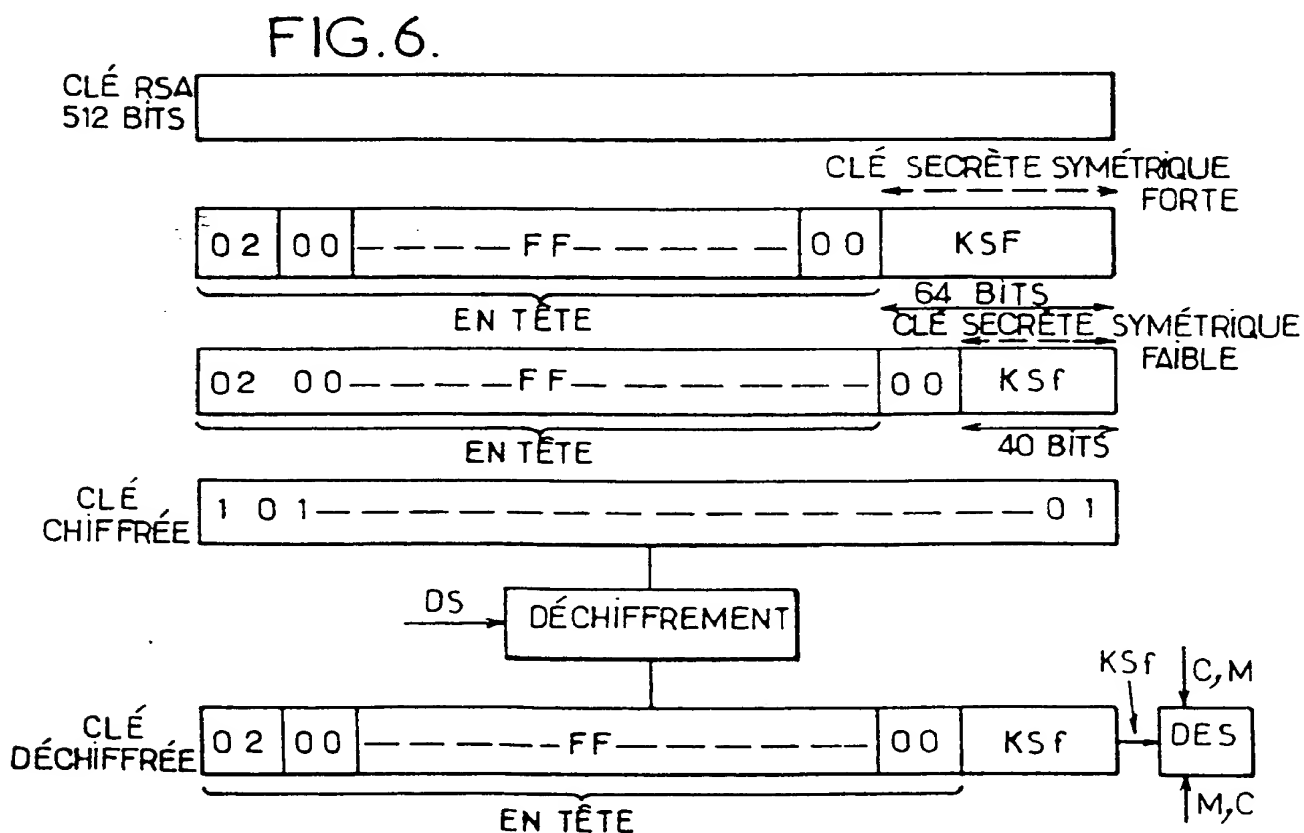
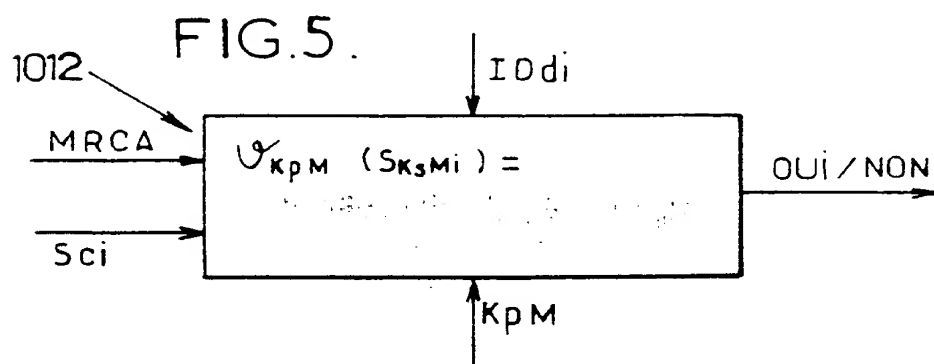
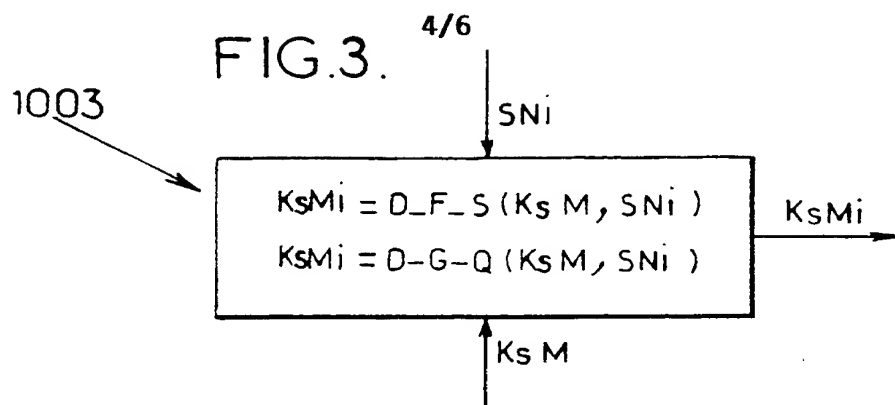
THIS PAGE BLANK (USPTO)

3/6

FIG.2b.



THIS PAGE BLANK (USPTO)



THIS PAGE BLANK (USPTO)

FIG.4a.

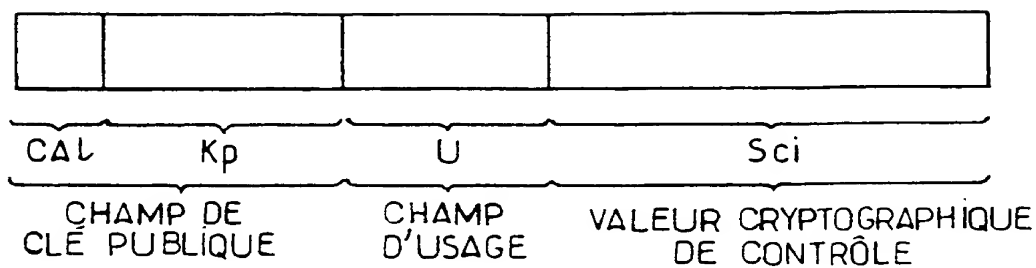
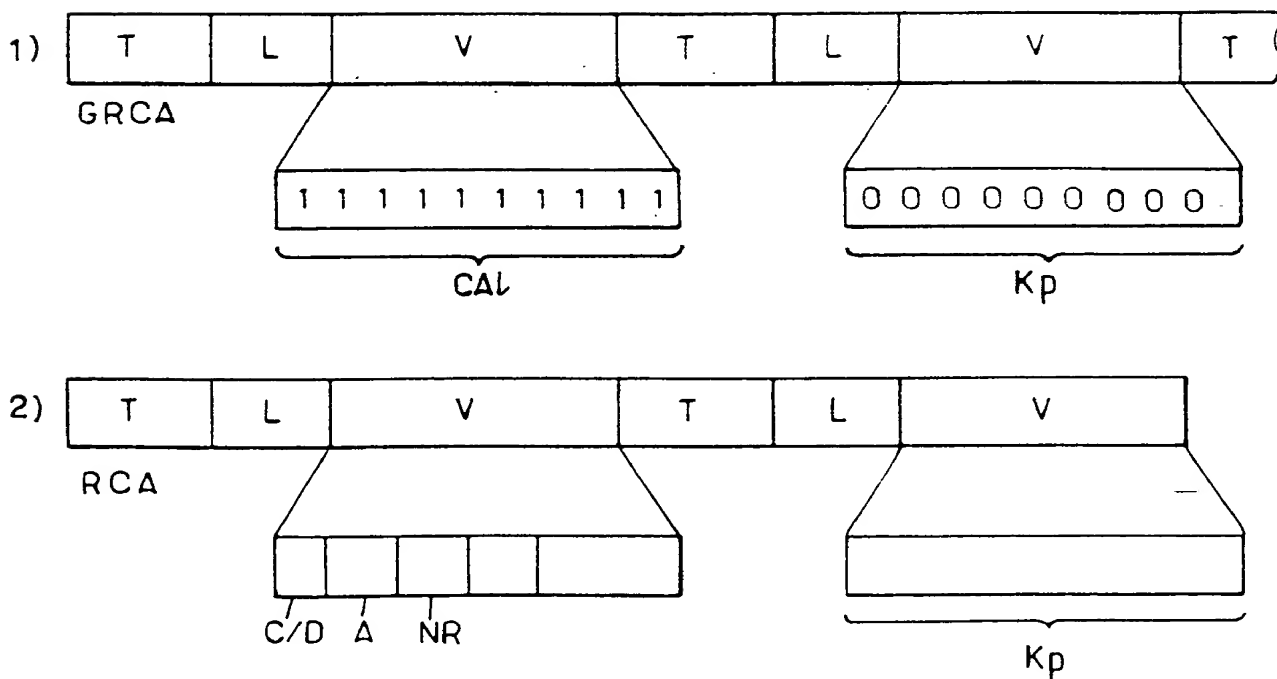
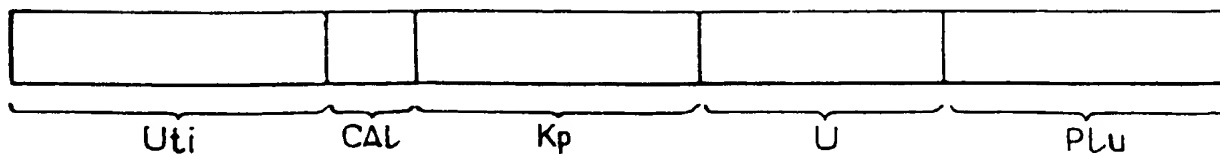


FIG.4b.



GRCA

FIG.4c.



FEUILLE DE REMPLACEMENT (REGLE 26)

THIS PAGE BLANK (USPTO)

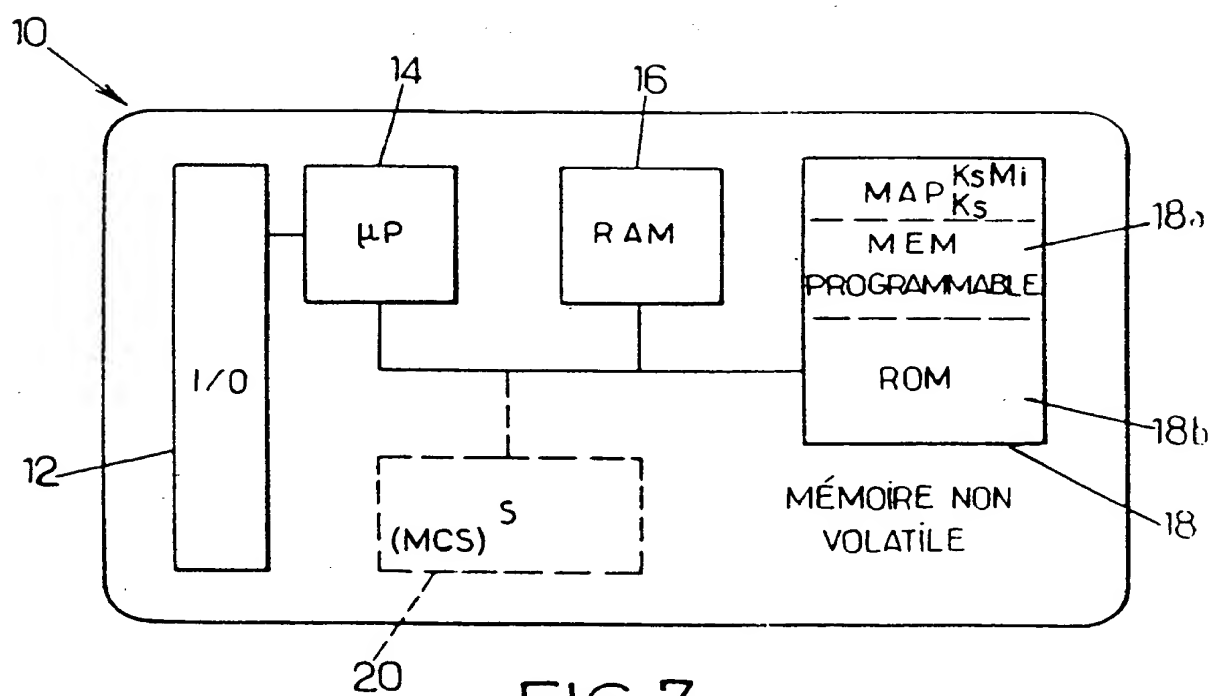


FIG. 7.

THIS PAGE BLANK (USPTO)